


## Self-lubricating composite layer production

**Patent number:** DE19700835  
**Publication date:** 1997-07-24  
**Inventor:** BLANCHARD CHERYL RENEE (US); PAGE RICHARD ALLEN (US)  
**Applicant:** NIPPON PISTON RING CO LTD (JP); HINO MOTORS LTD (JP)  
**Classification:**  
- international: C23C4/10; F02F3/10  
- european: C23C4/04; C23C4/06; F16C33/14  
**Application number:** DE19971000835 19970113  
**Priority number(s):** US19960588733 19960119

**Also published as:**

 US5763106 (A)  
JP9202957 (A)  
SE9700040 (L)

**Report a data error here**

### Abstract of DE19700835

A method of applying a self-lubricating composite layer onto a metallic component involves high velocity oxy-fuel spraying of a composite powder consisting of 25-75 vol.% carbide-containing ceramic powder (preferably chromium carbide), 5-50 vol.% nickel and/or chromium powder (preferably Ni-Cr powder) and 2-25 vol.% solid lubricant powder selected from molybdenum disulphide, lead oxide, graphite, silver and titanium oxide powders (preferably molybdenum disulphide powder). Also claimed are: (i) a composite powder of the above composition for producing a self-lubricating composite layer; (ii) a component with a self-lubricating layer consisting of a carbide-containing ceramic material, nickel and/or chromium and a solid lubricant selected from molybdenum disulphide, lead oxide, graphite, silver and titanium oxide; and (iii) a cast iron component with a self-lubricating layer comprising 60-70 vol.% chromium carbide, 15-25 vol.% of equal volumes of nickel and chromium and 10-20 vol.% molybdenum disulphide.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

PO33613/DE1

D4



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 00 835 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**C23 C 4/10**  
F 02 F 3/10

②① Aktenzeichen: 197 00 835.6  
②② Anmeldetag: 13. 1. 97  
②③ Offenlegungstag: 24. 7. 97

DE 197 00 835 A 1

③① Unionspriorität:

588733 19.01.96 US

⑦① Anmelder:

Nippon Piston Ring Co., Ltd., Tokio/Tokyo, JP; Hino Motors, Ltd., Tokio/Tokyo, JP

⑦④ Vertreter:

Bardehle, Pagenberg, Dost, Altenburg, Frohwitter, Geissler & Partner Patent- und Rechtsanwälte, 81679 München

⑦② Erfinder:

Blanchard, Cheryl Renee, San Antonio, Tex., US;  
Page, Richard Allen, San Antonio, Tex., US

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Kompositpulver und Verfahren zum Bilden einer selbstschmierenden Kompositschicht und dadurch gebildete selbstschmierende Bauteile

⑤⑦ Die Erfindung schafft ein Kompositpulver auf Keramikbasis und ein Verfahren zum Auftragen des Kompositpulvers unter Verwendung einer H.V.O.F.-Kanone zum Ausbilden einer selbstschmierenden Schicht für Metallteile. Das Kompositpulver und die Schicht bestehen aus einem Keramikpulver, einem Metallpulver und einem Festschmierstoffpulver.

DE 197 00 835 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft Kompositpulver, Verfahren zum Ausbilden von Kompositschichten und Kompositschichten zum Herabsetzen des Verschleißes bei Bauteilen, die im Betrieb einer Reibung ausgesetzt sind. Insbesondere betrifft die Erfindung Festschmierstoffschichten, welche den Reibungskoeffizienten und Verschleiß von Metallteilen wie beispielsweise Kolbenringen und Zylinderlaufbuchsen herabsetzen.

Der andauernde Bedarf an ölfreien Gleitflächen in der Transport- und Versorgungsindustrie ergab die Entwicklung weiterentwickelter Materialien und Bauteilen. Die Kompressorkonstruktionsforschung hat sich auf die Herstellung ölfreier Luft- oder Gaskompressoren eingestellt, bei denen die laufenden Wartungsanforderungen herabgesetzt werden. Die Maschinenkonstruktionsforschung hat sich auf ein Erhöhen der Lebensdauer von Maschinenteilen durch Herabsetzen von Verschleiß und Reibung auf den Kolbenring und die Zylinderlaufbuchse unter erschwerten Temperatur- und Druckbedingungen eingestellt. Die Forschung an Dieselmotoren war auf die Entwicklung von Kolbenringen und Zylinderlaufbuchsen gerichtet, die wenig oder kein Schmieröl erfordern, so daß der Ölverbrauch herabgesetzt wird und beträchtlich die aus Partikeln bestehenden Abgasemissionen reduziert werden, die in Dieselmotoren erzeugt werden. Sowohl weiterentwickelte Kompressoren als auch Motoren erfordern nichtgeschmierte oder grenzschicht-geschmierte Kolbenringe und Zylinderlaufbuchsen mit niedrigen Reib- und Abriebseigenschaften.

Nichtgeschmierte Gleitflächen arbeiten nur mit Oberflächen, die niedrige Reibungs- und Verschleißseigenschaften sowie annehmbare Eigenschaften hinsichtlich Zuverlässigkeit und Stabilität aufweisen. Ihre mechanische und chemische Stabilität haben keramische Werkstoffe zu einem führenden Werkstoff für die Verwendung in Bauteilen gemacht, die keine Schmierung erfordern. Leider leiden nichtgeschmierte keramische Werkstoffe an schlechten Reibungs- und Verschleißseigenschaften und unzuverlässiger mechanischer Stabilität. Diese Einschränkungen haben die Verwendung von keramischen Werkstoffen bei kritischen Anwendungen wie beispielsweise Kolbenringen und Zylinderlaufbuchsen begrenzt.

Verfahren zum erfolgreichen Einsatz von keramischen Werkstoffen für hoher Reibung unterworfenen Bauteile sind höchst wünschenswert.

Die Erfindung schafft ein Kompositpulver auf Keramikbasis und ein Verfahren zum Auftragen des Kompositpulvers, vorzugsweise unter Verwendung einer Hochgeschwindigkeit-Oxittreibstoff-(HVOF)-Kanone, um eine selbstschmierende Verbundschicht für Metallteile zu bilden. Das Kompositpulver und die Schicht bestehen aus einer Keramikphase, einer Metallphase und einer Festschmierstoffphase.

Die Erfindung schafft ein teilchenförmiges Kompositpulver, das unter Verwendung einer Vielzahl von Beschichtungsverfahren, vorzugsweise einer HVOF-Kanone aufgebracht werden kann. Das Ergebnis ist eine selbstschmierende Schicht für Metallbauteile, die während des Betriebes einer Reibung ausgesetzt sind. Im wesentlichen kann gemäß Erfindung jedes Metall beschichtet werden. Vorzugsweise schließen Metallsubstrate Gußeisen und Stahl ein, sind aber hierauf nicht beschränkt.

Das Kompositpulver ist ein teilchenförmiges Gemisch aus einem keramischen Werkstoff, einem Metall und einem Festschmierstoff. Der in dem Gemisch verwendete keramische Werkstoff kann im wesentlichen jedes Karbid sein.

Beispiele geeigneter Karbide schließen, jedoch nicht zwangsläufig einschränkend, Chromkarbid, Siliziumkarbid, Borkarbid, Wolframkarbid und Titankarbid ein. Bevorzugte keramische Werkstoffe sind Chromkarbid und Wolframkarbid.

Das in dem Gemisch verwendete Metall kann eine Kombination von Nickel und Chrom sein. Ein bevorzugtes Metall ist ein Gemisch von 80 Gew.-% Nickel und 20 Gew.-% Chrom.

Festschmierstoffe, die in dem Gemisch nützlich sind, schließen indessen nicht zwangsläufig ausschließlich Molybdändisulfid, Bleioxid, Silber, Graphit und Titanoxid ein. Ein bevorzugter Festschmierstoff, der besonders nützlich ist, wenn Gußeisenzylinderlaufbuchsen beschichtet werden, ist Molybdändisulfid.

Das Kompositpulver sollte ein Gemisch umfassen von (a) zwischen ungefähr 25 bis 75 Vol.-% eines keramischen Pulvers, vorzugsweise ein Karbidpulver, insbesondere bevorzugt zwischen 60 bis 70 Vol.-% eines Chromkarbidpulvers; (b) zwischen ungefähr 5 bis 50 Vol.-% eines Metallpulvers, vorzugsweise zwischen ungefähr 15 bis 25 Vol.-% eines Metallpulvers, das ein 80—20 Gew.-%-Legierung aus Nickel und Chrompulver umfaßt und (c) zwischen ungefähr 2 bis 25 Vol.-% eines Festschmierstoffpulvers, vorzugsweise zwischen ungefähr 10 und 20 Vol.-% Molybdändisulfidpulver. Bei einer bevorzugten Ausführungsform umfaßt das Kompositpulver ungefähr 65% Chromkarbidpulver, ungefähr 15 Vol.-% Molybdändisulfidpulver und ungefähr 20 Vol.-% eines Metallpulvers, das aus einer 80—20 Gew.-%-Legierung aus Nickel und Chrom besteht. Ein bevorzugtes Kompositpulver sollte als Verunreinigung minimal Eisen enthalten.

Der keramische Werkstoff oder das Keramikkarbid wirkt als abriebbeständige Phase in der Kompositschicht. Wenn das Kompositpulver weniger als 25 Vol.-% des Karbidpulvers enthält, ist die Abriebbeständigkeit nicht ausreichend, um der Schicht eine geeignete Abriebbeständigkeit zu verleihen.

Wenn zusätzlich die Schicht mehr als 75 Vol.-% der Karbidphase enthält, ist die Schicht extrem verschleißbeständig, ist jedoch ebenfalls extrem aggressiv gegen das gegenüberliegende Verschleißteil, woraus sich höhere Verschleißraten der gegenüberliegenden Oberflächen (beispielsweise den Kolbenringen) ergibt.

Demzufolge sollte das Kompositpulver ungefähr 25—75 Vol.-% des Keramikkarbidpulvers enthalten.

Die Metallphase schafft für die Kompositschicht Beständigkeit und Zähigkeit.

Wenn das Kompositpulver weniger als 5 Vol.-% Metallpulver enthält, hat die Schicht keine ausreichende Beständigkeit, um intakt zu bleiben. Zusätzlich, wenn die Schicht mehr als 50 Vol.-% Metallphase enthält, weist die Schicht eine niedrige Abriebbeständigkeit auf Grund des unzureichenden Gehaltes an Keramikphase auf. Demzufolge sollte das Kompositpulver ungefähr 5—50 Vol.-% Metallpulver enthalten.

Die Festschmierstoffphase wirkt als kontinuierliches Schmiermittel für das Verschleißpaar und gestattet ein

Herabsetzen oder ein Ausschalten herkömmlicher Ölschmierstoffe. Wenn das Kompositpulver weniger als 2 Vol.-% Schmiermittelpase enthält, ist die Schmierwirkung unzureichend. Wenn sie zusätzlich mehr als 25 Vol.-% Festschmierstoff enthält, leidet die Schicht an Beständigkeit und Verschleißbeständigkeit. Demzufolge sollte die Komposittschicht ungefähr 2—25 Vol.-% Festschmierstoffpulver enthalten.

Eine bevorzugte Ausführungsform, die besonders nützlich ist, wenn Gußeisenzylinderlaufbuchsen beschichtet werden, verwendet ein Produkt, das eine Kombination von Keramik und Metall ist und CERMET genannt wird. Ein CERMET ist eine Kombination vorzugsweise einer 80-20-Keramikmetallkombination von Chromkarbid (Keramik) und Nickelchrom (Metall). CERMET-Pulver sind beispielsweise von der Firma Miller Thermal, Inc., 555T Communication Drive, Appleton, WI 54915 erhältlich. Das geschaffene Kompositpulver, das ein CERMET-Pulver und ein Festschmierstoffpulver benutzt, umfaßt ein Gemisch von ungefähr 85 Vol.-% CERMET und ungefähr 15 Vol.-% Molybdändisulfidpulver.

Keramik-, Metall- und Festschmierstoffpulver sind von einer Vielzahl von Handelsfirmen erhältlich. Beispielsweise ist Chromkarbidpulver von Aithaca Chemical Corp., 50 Charles Lindbergh Blvd., Suite 400, Uniondale, NY 11553 erhältlich, Chrom ist als Metallpulver von Aithaca Chemical Corp. und von Spectrum Chemical Mfg. Corp., Gardena, CA. erhältlich, Nickel ist als Metallpulver von Belmont Metals, Inc., 327 Belmont Ave., Brooklyn, NY 11207 und Molybdändisulfidpulver ist von GFS Chemicals, Inc., P.O. Box 245, Powell, OH 43065 erhältlich.

Das Kompositpulver kann unter Verwendung einer Anzahl bekannter Beschichtungsverfahren aufgetragen werden. Ein bevorzugtes Verfahren verwendet einen Hochgeschwindigkeitsoxy-Brennstoff (HVOF). Andere geeignete Beschichtungsverfahren schließen jedoch nicht hierauf beschränkt, Niederdruck-, Plasmasprühen (LPPS) und die Verwendung einer Beschichtungskanone (D-Kanone) ein. Die Erfindung wird unter Bezugnahme auf die HVOF-Anwendung beschrieben, jedoch kann die Erfindung andere geeignete Auftragsverfahren einschließen. Zunächst sollte das Substrat gereinigt werden, indem Wärmesprühverfahren für die Vorbereitung der Oberfläche eingesetzt werden. Ein bevorzugtes Verfahren zum Reinigen des Substrats ist ein Sandstrahlen unter Verwendung von Aluminiumoxidkorn, Größe 24 oder 36, bei ungefähr 3515—4219 g/cm<sup>2</sup> (50—60 psi). Dieses Zubereitungsverfahren reinigt sowohl das Substrat und erhöht den Oberflächenbereich zwecks Bindung. Die zu behandelnde Oberfläche sollte auf ungefähr 93°C (200°F) vorgewärmt werden. Die Oberflächentemperatur kann gemessen werden, indem bekannte Verfahren wie beispielsweise Kontakt- oder Infrarotmessungen angewandt werden.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird das Kompositpulver durch Standardsieben sortiert, wobei ein Sieb mit einer Maschenweite von — 325/ + 15 verwendet wird. Das Kompositpulver wird in den Pulverzuführtrichter einer H.V.O.F.-Kanone vom Jet Kote-Typ eingebracht, die von Stellite coatings, Deloro Stellite, Inc., 1201 Eisenhower Dr. N, Goshen, IN 46526 erhältlich ist, und die Sprühparameter sollten eingestellt werden. Die Kanonenparameter sollten ausreichend sein, um das Kompositpulver über seinen Schmelzpunkt hinaus zu erhitzen, welcher entsprechend der besonderen Zusammensetzung variiert. Die Kanone sollte vorzugsweise eine Düse von ungefähr 0,635 cm × 15,24 cm (1/4" × 6") aufweisen. Die Brennstoffgase sollten vorzugsweise sein: Wasserstoff mit ungefähr 8436,8 g/cm<sup>2</sup> (120 psi), 8652,6 cm<sup>3</sup>/sec. (1100 Standardkubikfeet/hr, oder "scfh"), und Sauerstoff bei 8436,8 g/cm<sup>2</sup> (120 psi), 5112,9 cm<sup>3</sup>/sec (650 scfh). Das Trägergas sollte vorzugsweise Argon bei 5976,1 g/cm<sup>2</sup> (85 psi), 314,64 cm<sup>3</sup>/sec (40 scfh) sein. Der Sprühabstand sollte vorzugsweise ungefähr 25,4 cm (10") betragen. Jeder Durchgang sollte eine Schicht von ungefähr 5—8 Mikrometer (0,0002—0,0003") Dicke abscheiden. Um eine Schicht von 150 Mikrometer (0,006") zu erzielen, sind annähernd 20—25 Durchgänge erforderlich.

Während dieses Verfahrens sollte die Temperatur des Substrates überwacht und unterhalb ungefähr 400°F gehalten werden.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf das Beispiel erläutert, das die Erfindung aber nicht begrenzen soll.

#### Beispiel 1

#### Prüfversuche

Die festen Schmierstoffe, die zum anfänglichen Sieben ausgewählt wurden, waren MoS<sub>2</sub>, PbO, Graphit und Ag. Die für die Berechnung des Festschmierstoffes verwendete Testmatrix ist in Tabelle I gezeigt:

Tabelle I

Versuchsmatrix zur Auswertung des Festschmierstoffes

Flach	Festschmierstoff	Schmierzustand
$\text{Cr}_3\text{C}_2$ (Cl)*	$\text{MoS}_2$	Trocken
$\text{Cr}_3\text{C}_2$ (Cl)	$\text{MoS}_2$	Geschmiert <sup>ra</sup>
$\text{Cr}_3\text{C}_2$ (Cl)	PbO	Trocken
$\text{Cr}_3\text{C}_2$ (Cl)	PbO	Geschmiert
$\text{Cr}_3\text{C}_2$ (Cl)	Graphit	Trocken
$\text{Cr}_3\text{C}_2$ (Cl)	Graphit	Geschmiert
$\text{Cr}_3\text{C}_2$ (Cl)	Ag	Trocken
	Ag	Geschmiert
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}_{\text{HVOF}}$ (Cl) <sup>***</sup>	$\text{MoS}_2$	Trocken
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}_{\text{HVOF}}$ (Cl)	$\text{MoS}_2$	Geschmiert
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}_{\text{HVOF}}$ (Cl)	PbO	Trocken
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}_{\text{HVOF}}$ (Cl)	PbO	Geschmiert
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}_{\text{HVOF}}$ (Cl)	Graphit	Trocken
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}_{\text{HVOF}}$ (Cl)	Graphit	Geschmiert
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}_{\text{HVOF}}$ (Cl)	Ag	Trocken
	Ag	Geschmiert

\* $\text{Cr}_3\text{C}_2$  (Cl) bezieht sich auf eine Chromkarbidschicht auf einem Gußeisen-substrat.

\*\*Schmierung wurde durch Standardschmieröl geschaffen.

\*\*\* $\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}_{\text{HVOF}}$  (Cl) bezieht sich auf eine Chromkarbid/Nichrom-Schicht, aufgetragen auf ein Gußeisensubstrat unter Verwendung einer HVOF-Kanone.

Die vier Festschmierstoffe wurden auf den beschichteten Substraten unter Verwendung einer Ionenstrahl unterstützten Abscheidung für PbO,  $\text{MoS}_2$  und Graphit und Lichtbogenionenplattierung für Ag abgeschieden. Diese Verfahren werden nicht im Detail beschrieben, weil sie nicht für das abschließende Abscheidungsverfahren ausgewählt sind. Die Festschmierstoffe wurden alle bewertet, sowohl geschmiert als auch trocken gegen mit TiN beschichteten Stahlstiften, wobei ein Leistungsspitzenabriebtest verwendet wurde. Die Testbedingungen, die zur Bewertung der Verschleißpaare verwendet wurden, sind in Tabelle II wiedergegeben:

Tabelle II

## Leistungstestbedingungen

## Geschmierter Zustand

Aufgebrachte Normallast	15N
Geschwindigkeit der Hin- und Herbewegung	8 cm/sec
Temperatur	155°C (311°F)
Dauer	4 Stunden
Ölvolumen	0,4 µl
Atmosphäre	Laborluft

## Trockenbedingungen

Aufgebrachte Normallast	15N
Geschwindigkeit der Hin- und Herbewegung	8 cm/sec
Temperatur	155°C (311°F)
Dauer	4 Stunden
Ölvolumen	Keine
Atmosphäre	Laborluft

Der Reibungskoeffizient, die Oberflächenrauigkeit ( $R_a$  in  $\mu\text{m}$ ), vor und nach dem Test, Massenänderung der Flachprobe und Abriebkratzergröße des Stiftes und der Flachprobe wurden verwendet, um die festen Schmierstoffe einzureihen. Die Ergebnisse eines jeden Versuches sind in Tabelle III und IV wiedergegeben.

TABELLE III.

Flächprobe	$\mu$ l anfänglich $\mu$ l abschließend $\mu$ l Durchschnit	$R_a$ ( $\mu$ m) Ver-Tes Nach-Test	Gew.-Änderung (10 <sup>-3</sup> g) Flächprobe Stüt	Stütztiefe Kratzerabmessungen ( $\mu$ m) A = rechtswinklig zur Gleit- bewegung B = parallel zur Gleitbewe- gung	Flächverschleiß Kratzerbereich A = Primärkrater B = einschließl. geringe Be- schädigung an Rändern
$Cr_3C_2/MoS_2$	0,09 0,11 0,11	0,21 0,18	380 5	A = 105 B = 250	A = 260 B = 260
$Cr_3C_2/PbO$	0,12 0,12 0,12	0,16 0,30	209 6	A = 280 B = 500	A = 200 B = 260
$Cr_3C_2/Ag$	0,16 0,14 0,13	1,40 1,08	132 25	A = 500 B = 550	A = 210 B = 2670
$Cr_3C_2/graphit$	0,10 0,11 0,11	0,22 0,19	586 10	A = 575 B = 500	A = 625 B = 625
$Cr_3C_2/NiCr/MoS_2$	0,12 0,12 0,12	0,36 0,89	229 13	A = 590 B = 650	A = 290 B = 1250
$Cr_3C_2/NiCr/PbO$	0,13 0,12 0,12	0,33 0,30	213 4	A = 110 B = 175	A = 275 B = 1000
$Cr_3C_2/NiCr/Ag$	0,15 0,12 0,12	1,00 0,68	116 39	A = 310 B = 320	A = 350 B = 1275
$Cr_3C_2/NiCr/graphit$	0,09 0,12 0,12	0,14 0,125	1095 4	A = 550 B = 525	A = 625 B = 625

TABELLE IV.

Flachprobe	$\mu$ anflüßlich $\mu$ abschleifend $\mu$ Durchschleif	$P_0$ ( $\mu$ m) Vor-Test Nach-Test	Gew.-Änderung (10 <sup>-3</sup> g) Flachprobe Stift	Stiftabrieb Kratzerabmessungen ( $\mu$ m) A = rechtwinklig zur Gleit- bewegung B = parallel zur Gleitbewe- gung	Flächverschleiß Kratzerbereich A = Primärkratzer B = einschleifl. geringe Be- schädigung an Rändern
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{MoS}_2$	0,61 1,27 1,14	0,20 0,31	27 0	A = 725 B = 760	A = 500 B = 740
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{PbO}$	0,34 1,18 0,63	0,41 0,21	5 -1	A = 440 B = 460	A = 480 B = 1210
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{Ag}$	1,12 1,13 1,18	1,30 0,70	4 7	A = 400 B = 775	A = 200 B = 2760
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{graphit}$	0,36 0,47 0,42	0,16 0,22	-5 0	A = 400 B = 410	A = 375 B = 610
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}/\text{MoS}_2$	0,63 1,19 0,64	1,31 1,05	-40 2	A = 625 B = 625	A = 460 B = 460
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}/\text{PbO}$	0,50 0,67 0,60	0,19 0,74	22 5	A = 375 B = 160	A = 310 B = 840
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}/\text{Ag}$	0,63 0,62 0,62	0,98 0,67	38 25	A = 190 B = 590	A = 300 B = 1290
$\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}/\text{graphit}$	0,31 0,49 0,42	0,50 1,60	-49 -3	A = 475 B = 610	A = 375 B = 660

+ Zeichen = Gewichtszunahme;  
- Teucgeb = Gewichtsverlust.

Basierend auf den vorstehenden Ergebnissen wurden die Festschmierstoffe PbO und MoS<sub>2</sub> für die weitere Entwicklung der Kompositschicht ausgewählt. Um selbstschmierende Kompositschichten herzustellen, wurden zwei Mischungen vorbereitet. In der ersten Mischung wurden 85 Vol.-% von Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>/NiCr-Pulver mit 15 Vol.-% des PbO-Pulvers vermischt. In dem zweiten Gemisch wurden 85 Vol.-% von Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>/NiCr-Pulver mit 15 Vol.-% MoS<sub>2</sub>-Pulver vermischt. Diese Gemische wurden dann als Pulverzuführung zum HVOF-Sprühen auf "Probe-  
stücke" von Gußeisen verwendet.

Nach Erhalt der beschriebenen Probe vom Lieferanten wurde durch Energiedispersionspektroskopie (EDS) bestimmt, daß PbO während des Plasmasprühens nicht zurückgehalten wurde. Zusätzlich wurde PbO auf Grund der Giftigkeit problematisch. Auf Grund dieser kombinierten Faktoren wurde eine weitere Bewertung der PbO-Kompositschicht eingestellt, und MoS<sub>2</sub> verblieb als Festschmierstoff-Kandidat für eine abschließende Bewertung.



Es wurde weiterhin bestimmt, daß das  $\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}$ -Pulver einem Plasmasprühen zugänglicher war als  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ -Pulver, und somit wurde  $\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}$ -Pulver als Matrix für das  $\text{MoS}_2$ -Schmiermittel verwendet.

#### Kompressorrest

Nach den Leistungsversuchen wurde ein maßstabgetreuer Versuch von beschichteten Bauteilen in dem ölfreien Kompressor durchgeführt. Das  $\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}$ -Pulver für diese Untersuchung, geliefert von F. W. Gartner Thermal Spraying Co., Houston, Texas, war Miller 1820, ein Pulver von Miller Thermal, Inc., 555T Communication Drive, Appleton, WI 54915, das 80 Gew.-%  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  und 20 Gew.-% NiCr umfaßt. Das Wärmesprühgemisch,  $\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr} + 15 \text{ Vol.-% MoS}_2$  wurde durch Zugabe von 85 Vol.-%  $\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}$  zu 15 Vol.-%  $\text{MoS}_2$ -Pulver in einem Polyethylenmischgefäß behandelt. Das  $\text{MoS}_2$ -Pulver wurde von Electronic Space Products international, Agoura Hills, California, No. KMR1045, 3N Reinheit geliefert. Die Zusammensetzung wurde dann ausführlich während 24 Stunden ohne weitere Zugabe gemischt (es wurde keine Flüssigkeit oder ein Schleifmittel zugefügt), in einem Turbula-Mischer (Turbular Typ T2C, Glen Mills, Inc., 203 Brookdale Street, Maywood, New Jersey 07607).

Eine Hochgeschwindigkeitsoxy-Brennstoff-(HVOF)-Kanone wurde verwendet, um das Kompositpulver auf Zylinderlaufbuchsen aus Gußeisen aufzutragen. Zunächst wurde die zu behandelnde Oberfläche durch Sandstrahlen gereinigt, wobei Aluminiumoxiddörner, Größe 24, bei ungefähr 50–60 psi verwendet wurden. Das Substrat wurde auf ungefähr  $93^\circ\text{C}$  ( $200^\circ\text{F}$ ) vorgewärmt.

Das Kompositpulver wurde durch Standardsieben sortiert, wobei ein Sieb mit einer Maschenweite von  $-325 \text{ mesh} + 15 \text{ mesh}$  verwendet wurde. Das Kompositpulver wurde in den Pulverzuführtrichter einer H.V.O.F.-Kanone vom Typ Jet Kote, HY-VEL, mit einer Düse von  $0,635 \text{ cm} \times 15,24 \text{ cm}$  ( $1/4'' \times 6''$ ) eingegeben. Die Brenngase waren: Wasserstoff bei ungefähr  $8436,8 \text{ g/cm}^2$  (120 psi),  $8652,6 \text{ cm}^3/\text{sec}$  (1100 Standardkubikfuß/hr or "scfh"), und Sauerstoff bei  $8436,8 \text{ g/cm}^2$  (120 psi),  $5112,9 \text{ cm}^3/\text{sec}$  (650 scfh). Das Trägergas war Argon bei  $5976,1 \text{ g/cm}^2$  (85 psi),  $314,64 \text{ cm}^3/\text{sec}$  (40 scfh).

Das Kompositpulver wurde auf Kompressorzylinderlaufbuchsen aus Gußeisen der Firma Hino Motors, Tokyo, Japan, mit einem Sprühabstand von ungefähr  $25,4 \text{ cm}$  ( $10''$ ) gesprüht. Bei jedem Durchgang wurde eine Schicht von ungefähr 5–8 Mikrometer Dicke ( $0,0002$ – $0,0003''$ ) aufgetragen. Um eine 150 Mikrometerschicht ( $0,006''$ ) zu erzielen, waren ungefähr 20–25 Durchgänge erforderlich. Während dieses Verfahrens wurde die Temperatur des Substrates überwacht und unterhalb ungefähr  $400^\circ\text{F}$  gehalten. Die sich ergebende Komposit-schicht enthielt die Schicht durchsetzendes  $\text{MoS}_2$  als festen Schmierstoff.

Nach dem Beschichten wurde der Innendurchmesser der Zylinderlaufbuchse maschinell bearbeitet, um die geforderten Abmessungstoleranzen und Oberflächenausführung zu erhalten. Ein Kompressor wurde dann zusammengebaut unter Verwendung von (a) Kolbenringen, geliefert von Nippon Piston Ring, Japan, die mit TiN von Greenfield Industries, P.O. Box 2587, Augusta, GA, 30913, beschichtet waren und (b) den vorher mit der  $\text{MoS}_2$  enthaltenden Chromkarbid/Nichrom-Kompositschicht zubereiteten Zylinderlaufbuchse.

Nach dem Zusammenbau wurde ein Haltbarkeitstest unter ölfreien Bedingungen eingeleitet. Der Kompressor lief bei 2300 UPM und bei einem Abgedruck von 1176 kPa, und die Wassertemperatur wurde auf annähernd  $80^\circ\text{C}$  ( $176^\circ\text{F}$ ) gehalten. Der Haltbarkeitstest wurde nach 26 Stunden beendet.

Eine abschließende Bewertung der H.V.O.F. gesprühten Schicht zeigte, daß während des Versuches die Beständigkeit der Schicht beibehalten worden ist.

Ein katastrophales Aufbrechen der Schicht wurde nicht beobachtet, und der  $\text{MoS}_2$ -Festschmierstoff wurde in der Schicht gehalten.

Die Beendigung nach 26 Stunden Trockenbetrieb ohne Bruch von Bauteilen zeigt den Erfolg der  $\text{MoS}_2$  enthaltenden Kompositschicht. Produktionsbauteile unter ähnlichen Trockenbedingungen versagen innerhalb Minuten.

Es lassen sich verschiedene Modifikationen vornehmen, ohne sich jedoch dabei vom Kern der Erfindung zu entfernen. Die beschriebenen Ausführungsformen dienen nur dem Verständnis und sollen die Erfindung nicht beschränken.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Aufbringen einer selbstschmierenden Kompositschicht auf ein metallisches Bauteil, umfassend:

Schaffen eines Kompositpulvers, bestehend aus:  
zwischen ungefähr 25–75 Vol.-% eines Karbid enthaltenden Keramikpulvers,  
zwischen ungefähr 5–50 Vol.-% eines Metallpulvers, ausgewählt aus der Gruppe, die aus Nickel, Chrom und Kombinationen hieraus besteht;  
und zwischen ungefähr 2–25 Vol.-% eines Festschmierstoffpulvers, ausgewählt aus der Gruppe, die aus Molybdändisulfid, Bleioxid, Graphit, Silber und Titanoxid besteht; und  
Auftragen des Kompositpulvers auf die Komponente als Hochgeschwindigkeitsoxy-Brennstoffspray, so daß sich eine selbstschmierende Kompositschicht ergibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Keramikpulver Chromkarbid umfaßt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Metallpulver Nickel-Chrom umfaßt.

4. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Metallpulver Nickel-Chrom umfaßt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Festschmierstoffpulver Molybdändisulfid umfaßt.

6. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Festschmierstoffpulver Molybdändisulfid umfaßt.

7. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das Festschmierstoffpulver Molybdändisulfid umfaßt.

8. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Schmierstoffpulver Molybdändisulfid umfaßt.
9. Verfahren zum Auftragen einer selbstschmierenden Kompositschicht auf ein Gußeisenteil, umfassend:  
das Vorsehen eines Kompositpulvers, bestehend aus: ungefähr 60—70 Vol.-% Chromkarbidpulver;  
ungefähr 15—25 Vol.-% eines Metallpulvers, umfassend ein gleiches Volumen von Nickel und Chrom;  
und  
ungefähr 10—20 Vol.-% Molybdändisulfidpulver; und  
Auftragen des Kompositpulvers auf das Bauteil als Hochgeschwindigkeitsoxybrennstoffspray, woraus  
sich eine selbstschmierende Kompositschicht ergibt. 5
10. Kompositpulver zum Bilden einer selbstschmierenden Kompositschicht, umfassend:  
zwischen ungefähr 25—75 Vol.-% eines ein Karbid umfassenden Keramikpulvers;  
zwischen ungefähr 5—50 Vol.-% eines Metallpulvers, ausgewählt aus der Gruppe, die aus Nickel und  
Chrom und Kombination hieraus besteht; und  
zwischen ungefähr 2—25 Vol.-% eines Festschmierstoffpulvers, ausgewählt aus der Gruppe, die aus  
Molybdändisulfid, Bleioxid, Graphit, Silber und Titanoxid besteht. 10
11. Kompositpulver nach Anspruch 10, wobei das Keramikpulver Chromkarbid umfaßt. 15
12. Kompositpulver nach Anspruch 10, wobei das Metallpulver Nickel-Chrom umfaßt.
13. Kompositpulver nach Anspruch 11, wobei das Metallpulver Nickel-Chrom umfaßt.
14. Kompositpulver nach Anspruch 10, wobei das Festschmierstoffpulver Molybdändisulfid umfaßt.
15. Kompositpulver nach Anspruch 11, wobei das Festschmierstoffpulver Molybdändisulfid umfaßt.
16. Kompositpulver nach Anspruch 12, wobei das Festschmierstoffpulver Molybdändisulfidpulver umfaßt. 20
17. Kompositpulver nach Anspruch 13, wobei das Festschmierstoffpulver Molybdändisulfid umfaßt.
18. Kompositpulver zum Bilden einer selbstschmierenden Kompositschicht auf einem Gußeisenteil, umfas-  
send:  
ungefähr 60—70 Vol.-% Chromkarbidpulver;  
ungefähr 15—25 Vol.-% eines Metallpulvers, das ein gleiches Volumen an Nickel und Chrom umfaßt; 25  
und  
ungefähr 10—20 Vol.-% Molybdändisulfidpulver.
19. Komponente mit einer selbstschmierenden Schicht, umfassend:  
ein Karbid umfassenden Keramikwerkstoff;  
ein Metall, ausgewählt aus der Gruppe, die aus Nickel, Chrom und Kombinationen hieraus besteht; und 30  
einen Festschmierstoff, ausgewählt aus der Gruppe, die aus Molybdändisulfid, Bleioxid, Graphit, Silber  
und Titanoxid besteht.
20. Komponente nach Anspruch 19, wobei das Karbid zwischen ungefähr 25—75 Vol.-% der Schicht  
umfaßt;  
das Metall zwischen ungefähr 5—50 Vol.-% der Schicht umfaßt; und 35  
der Festschmierstoff zwischen ungefähr 2—25 Vol.-% der Schicht umfaßt.
21. Komponente nach Anspruch 19, wobei der keramische Werkstoff Chromkarbid umfaßt.
22. Komponente nach Anspruch 20, wobei der keramische Werkstoff Chromkarbid umfaßt.
23. Komponente nach Anspruch 19, wobei das Metall eine Kombination von Nickel und Chrom umfaßt.
24. Komponente nach Anspruch 20, wobei das Metall eine Kombination von Nickel und Chrom umfaßt. 40
25. Komponente nach Anspruch 22, wobei das Metall eine Kombination von Nickel und Chrom umfaßt.
26. Komponente nach Anspruch 19, wobei der Festschmierstoff Molybdändisulfid umfaßt.
27. Komponente nach Anspruch 20, wobei der Festschmierstoff Molybdändisulfid umfaßt.
28. Komponente nach Anspruch 22, wobei der Festschmierstoff Molybdändisulfid umfaßt.
29. Komponente nach Anspruch 24, wobei der Festschmierstoff Molybdändisulfid umfaßt. 45
30. Komponente nach Anspruch 25, wobei der Festschmierstoff Molybdändisulfid umfaßt.
31. Gußeisenkomponente mit einer selbstschmierenden Schicht, umfassend:  
ungefähr 60—70 Vol.-% Chromkarbid;  
ungefähr 15—25 Vol.-% eines Metalls, bestehend aus gleichem Volumen von Nickel und Chrom; und  
ungefähr 10—20 Vol.-% Molybdändisulfid. 50

55

60

65

- Leerseite -